

論文

IL-CCD 形固体撮像素子におけるスメアの解析

正員 秋元 肇[†] 非会員 小野 秀行[†] 正員 安藤 治久[†]
非会員 中井 正章[†] 正員 大場 信弥[†] 非会員 鈴木 敏樹^{††}
非会員 竹本一八男^{††}

Analysis of Smear Noise in an Interline CCD Imager

Hajime AKIMOTO[†], Member, Hideyuki ONO[†], Nonmember,
Haruhisa ANDO[†], Member, Masaaki NAKAI[†], Nonmember, Shinya OHBA[†], Member,
Toshiki SUZUKI^{††} and Iwao TAKEMOTO^{††}, Nonmembers

あらまし インタライン CCD 形固体撮像素子のスメアの対策として、これまでに 2 重ウェル構造の採用と層間 SiO₂ 膜厚の低減が提唱されている。しかしながら、これらの対策によるスメアの抑圧効果は個別には検討されているものの、一個のまとまった素子についてのスメアはいまだに定量化されていない。このために、設計段階から撮像素子のスメアの値を予測し、設計に反映させることは難しかった。本論文ではインタライン CCD 形固体撮像素子のスメアを最適設計することを目的とし、Si 基板内における電荷拡散によるスメアを総合的に計算機解析し、更に層間 SiO₂ 膜を介した光の漏れ込みによるスメアについては、幾何光学的数値解析を行った。この結果前者は、p ウェルを完全空乏化することにより 125 dB まで抑圧が可能となることを明らかにし、後者と遮光量との関係も定量化することができた。また新たに Al 遮光膜の透過光によるスメアの発生を提案し、これが S/N にして 100 dB であることを確認した。以上の解析に基づき素子を試作したところ、30% の開口率を得ながら、同時にはば設計どおりの 94 dB のスメア抑圧量を得ることができ、解析の有効性を確認することができた。

1. ま え が き

素子特性の飛躍的向上に伴い、家庭用あるいは放送用ビデオカメラから工業用画像入力装置に至るまで、固体撮像素子は各種用途に幅広く展開しつつある。一方、このような用途の拡大に従って、固体撮像素子特有の現象であるスメアによる画質の劣化が、クローズアップされてきている。スメアとは、画像中において高輝度被写体の像が上下に薄い帯を引く現象であり、特に放送用ビデオカメラにおいて、これが問題となっていた。最近では、家庭用ビデオカメラを電子シャッター動作⁽¹⁾させた際のスメアの強調現象や、スメアによる工業用画像データの入力エラー等の問題も新たに生

じている。このような諸問題を解決し、更に今後の高精細ビデオカメラの高画質化を進めるために、スメアの解析とその抑圧は不可欠である。

スメアの発生原因の究明およびその抑圧手法の検討は、従来より精力的に行われてきた。MOS 形固体撮像素子については、スメアの発生過程が定量的に解析され⁽²⁾、更に実質的にスメアのない素子が量産されている⁽³⁾。一方、インタライン CCD 形固体撮像素子のスメアの原因として、Si 基板内で発生した電荷の横方向拡散⁽⁴⁾と、Si 基板と Al 遮光膜との間の層間 SiO₂ 膜を介した光の漏れ込み⁽⁵⁾の 2 点が考えられている。またこれらの対策として、CCD チャネル領域周辺に 2 重ウェルを設けること⁽⁴⁾、層間 SiO₂ 膜厚を 0.2 μm にまで薄くすること⁽⁵⁾等が提案されている。しかしながら、これらの対策を施したことによるスメアの抑圧効果は個別には検討されているものの、1 個の素子の総合的なスメアの定量化はいまだになされていない。このために、設計段階からの撮像素子のスメアの値を予測し、これ

[†] 日立製作所中央研究所、国分寺市
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Kokubunji-shi, 185
Japan

^{††} 日立製作所茂原工場、茂原市
Mobara Works, Hitachi, Ltd., Mobara-shi, 297 Japan

を設計に反映させることは難しかった。

本論文は、インタライン CCD 形固体撮像素子のスメアを最適設計することを目的とし、スメアの定量的な解析を試みている。まず Si 基板内で発生した電荷の拡散によるスメア成分に関しては、総合的な計算機解析を行う。次に層間 SiO_2 膜中を介した光の漏れ込みによるスメア成分については、幾何光学的理論式に基づく数値解析を行う。更に Al 遮光膜の透過光が、第 3 のスメア発生原因として大きな影響を有していることを予測し、これを測定により確認する。最後に以上の解析結果を基に、低スメアホットダイオード構造を提案し、その試作評価により解析の有効性を確認している。

以下、2. でスメアの三つの成分について述べ、3. で各スメア成分についての解析および検討を行い、最後に 4. で素子の試作およびその評価結果について述べる。

2. スメアの発生原因

本章ではまず、インタライン CCD 形固体撮像素子のスメアの発生原因について述べる。

図 1 に、素子の全体構成を示す。各画素は、ホットダイオードおよび、ホットダイオードを共通ソースとする二つの MOS トランジスタより成る。一方の MOS トランジスタは、ホットダイオードに蓄積された光信号電荷を垂直 CCD に読み出すためのものであり、以下ホットゲートと称する。また、他方の MOS トランジスタは、ホットダイオードに発生した過剰な光信号電荷を素子外

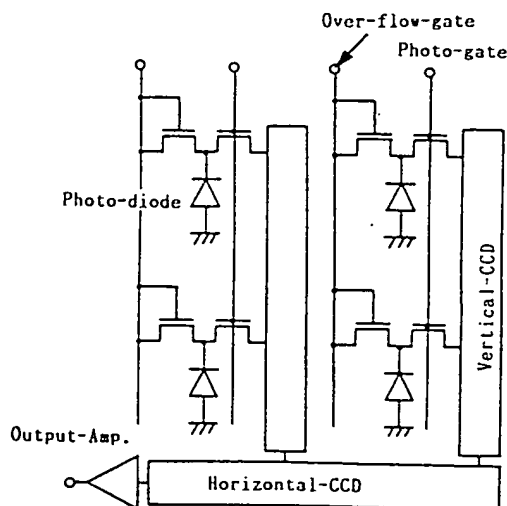


図 1 IL-CCD の全体構成
Fig. 1 Circuit diagram of an IL-CCD image sensor.

部に排出し、ブルーミングを抑圧するためのものであり、以下オーバーフローゲート⁽⁶⁾と称する。過剰電荷の排出手段として、近年は縦形の VOD (Vertical Over-flow Drain) 構造⁽⁷⁾を用いる例が多いが、ウェルに対するホットダイオードの飽和電位を自由に設定できることから、本解析では上記オーバーフローゲート構造を採用した。

また、画素部の断面構造を図 2 に示す。図に示したように、スメアの抑圧を図るために、垂直 CCD には、チャンネルの周囲を p^+ 層で囲む 2 重ウェル構造を設けている。

次に、スメアの発生原因について述べる。

従来より、インタライン CCD 形固体撮像素子のスメアの発生メカニズムとして、次の二つが知られている (図 2 に①、②として矢印で示す)。

① 入射光によって p ウェル内に発生した電荷の一部が、 p ウェル内を拡散し、垂直 CCD のチャンネル内に漏れ込むことによるもの⁽⁴⁾。

② ホットダイオードに入射する光の一部は、Si 表面で反射される。この反射光の一部が更に Al 遮光膜の下へ漏れ込み、垂直 CCD を感光して、チャンネル内に雑音電荷を発生させることによるもの⁽⁵⁾。

本論文では上記のメカニズムのほかに、今回新たに Al 遮光膜自体の透過光に起因する、第 3 のスメアの発生メカニズムをも検討した。

③ Al 遮光膜を透過したが光が、直接垂直 CCD を感光し、チャンネル内に雑音電荷を発生させることによるもの。

以上の三つのスメアの発生原因を①～③として図 2 に矢印で示し、また表 1 にまとめた。

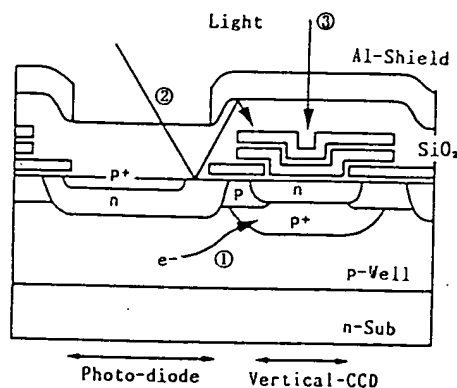


図 2 画素部の断面構造
Fig. 2 Cross-sectional view of a unit cell.

表 1 スメアの解析手法

項 目	発 生 原 因	解 析 方 法	関連部
①電荷拡散によるスメア	p ウェル内で発生した電荷の電荷中性領域内の拡散	デバイスシミュレータによる計算機解析	3.1節
②光の漏れ込みによるスメア	アルミニウム遮光膜下の SiO ₂ 層間膜を介した光の漏れ込み	幾何光学的数値解析	3.2節
③透過光によるスメア	アルミニウム遮光膜の透過光による垂直 CCD の感光	実験による実測	3.3節

次章では表 1 に従って、これらのスメアの解析について順次述べる。解析の際の手法としては、電荷拡散によるスメアについてはデバイスシミュレータによる計算機解析、②光の漏れ込みによるスメアについては幾何光学的数値解析、③透過光によるスメアについては実験によりこれらを行った。

3. スメアの解析

3.1 ウェル内の電荷拡散によるスメア

本節では、p ウェル内の電荷拡散に起因するスメアの解析と、それによって得られたスメアの抑圧手法について述べる。

本解析では、光電変換により生成した電荷の、デバイス内部における拡散やドリフト等の振舞いを取り扱う必要がある。本論文では、3次元デバイス解析プログラム CADDETH⁽⁶⁾を用い、計算機シミュレーションによりこれを行った。なお解析においては、垂直 CCD は、コンタクトを有する不純物拡散層に CCD と等価な空乏層の広がりをもたせて近似した。図 3 にこの解析構造を示す。

垂直画素数 N_{vs} の固体撮像素子に対し、垂直画素数 N_{vn} の画素に光が入射している際、光信号出力とその上下に生じるスメアとの強度比を、スメアの抑圧量とする。このときシミュレーションにおける信号対スメアの比、 $S_{mr}①$ は次式で与えられる。

$$S_{mr}① = 20 \cdot \log \frac{I_s \cdot N_{vs}}{I_n \cdot N_{vn}} \quad (1)$$

但し、

I_s : ホトダイオード端子からの電流出力

I_n : 垂直 CCD 端子からの電流出力

である。なお、以下スメアの抑圧量は、受光面上の垂直方向 1/10 の画素に光を照射した場合の、信号対スメア比として評価する。

次に、シミュレーションの結果について述べる。

図 4(a)は、スメアのホトダイオード電圧依存性の解

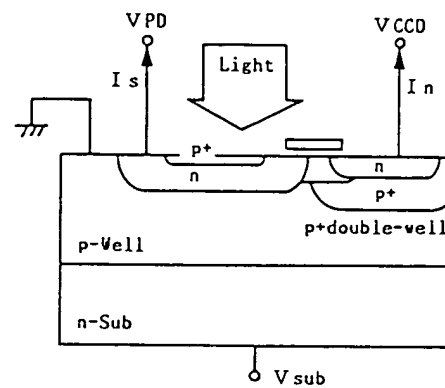


図 3 電荷拡散によるスメアの解析構造

Fig. 3 Analyzed structure for smear caused by electron-diffusion.

析例である。図中の縦軸は式(1)により求めた信号対スメア比、横軸はホトダイオードの電圧、 V_{PD} であり、図 2 に示した p ウェル/n 基板構造の場合と、p ウェルなし (p 基板) 構造の場合の解析結果をそれぞれ実線で示した。なお p ウェルの平均濃度は $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、拡散深さは $4 \mu\text{m}$ であり、p⁺ 2 重ウェルの拡散深さは $2 \mu\text{m}$ である。p ウェルなし構造の場合は、スメアのホトダイオード電圧依存性はほとんど見られない。一方 p ウェル/n 基板構造の場合、ホトダイオード電圧が増加しホトダイオード下の p ウェルが空乏化されるに従って、10 dB/V の割合でスメアは小さくなる。ホトダイオード電圧 3 V 以上でグラフは飽和傾向を示すが、これはホトダイオード下の p ウェルが完全に空乏化され、ホトダイオード下で発生するスメアが十分に抑圧されたためと解釈できる。図 4(b)は、このときの画素部電位分布のシミュレーション結果を等電位線で表したものであり、ホトダイオード電圧 4 V において、ホトダイオード下の p ウェルが完全に空乏化していることが確かめられる。このときに、残るスメアはゲート下の分離領域で発生するものであり、図 4(a)より、この大きさは信号対スメア比で 125 dB 程度であることがわかる。

以上から、ホットダイオード飽和時にもホットダイオード下のpウェルを完全に空乏化することが、スミアの抑圧に効果的であることが明らかになった。

図5には、図4と同一の構造について、垂直 CCD 周囲に設けた p⁺2 重ウェル構造のもつスミア抑圧効果の解析結果を示した。p⁺2 重ウェル構造では、(a)垂直 CCD からの空乏層の伸びが縮小し、(b)2 重の p ウェルの濃度比による拡散電位障壁が形成されることによる、スミアの抑圧効果が知られている⁽⁴⁾。図中の縦軸は信号対スミア比、横軸は p⁺2 重ウェルの表面不純物濃度であり、解析の結果を実線で示した。p⁺2 重ウェルの表面不純物濃度が 10¹⁶ cm⁻³ 以下の場合、垂直 CCD からの空乏層が p⁺2 重ウェルの外にまで広がっており、そのスミア抑圧効果は垂直 CCD の空乏層の縮小によるものである。また表面不純物濃度 10¹⁶ cm⁻³ 以上では、垂直 CCD からの空乏層は p⁺2 重ウェルの内側に収ま

るため、拡散電位差によるスミアの抑圧効果が新たに生じる。ここで拡散電位差によるスミア抑圧効果の理論計算値を、図5に破線で示した。この理論計算値は以下の手順で求めた。まず、プロセスシミュレータにより、p⁺2 重ウェルを含む垂直 CCD の不純物濃度の1次元の分布、 $N(x)$ を算出する。 x はデバイスの深さ方向の距離である。次に、ポアソンの1次元の方程式

$$\frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} = -\frac{q}{\epsilon} \cdot N(x) \quad (2)$$

但し、

$U(x)$: ポテンシャル分布

q : 単位電荷量

ϵ : Si の誘電率

を解くことにより、垂直 CCD の空乏層端の深さ x_0 を求める。p⁺2 重ウェル端における p ウェルの不純物濃度を N_0 とおくと、このときスミアの抑圧量、 S_{smr} は次式で与えられる。

$$S_{smr} = \frac{N(x_0)}{N_0} \quad (3)$$

なぜならば、不純物濃度が $N(x_0)$ と N_0 である2点間の拡散電位差 V は、

$$V = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{N(x_0)}{N_0} \quad (4)$$

更に電荷拡散に起因するスミアの抑圧量、 S_{smr} は、

$$S_{smr} = \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (5)$$

で表されるからである。

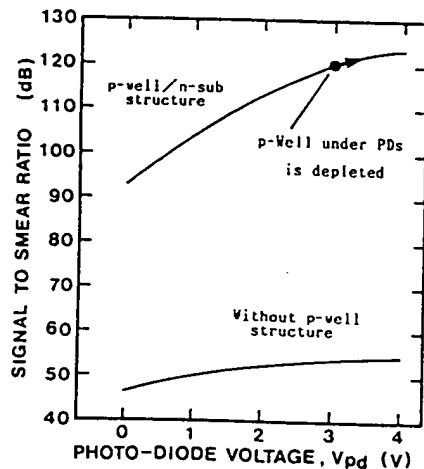


図4(a) スミアのホットダイオード電圧依存性解析値
Fig. 4(a) Calculated dependence of smear on photo-diode voltage.

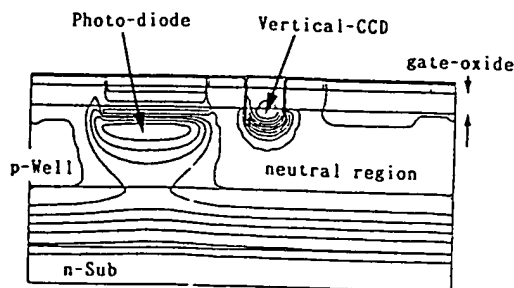


図4(b) 画素部電位分布のシミュレーション
(ホットダイオード電圧 4 V)

Fig. 4(b) Simulation results of potential distribution.

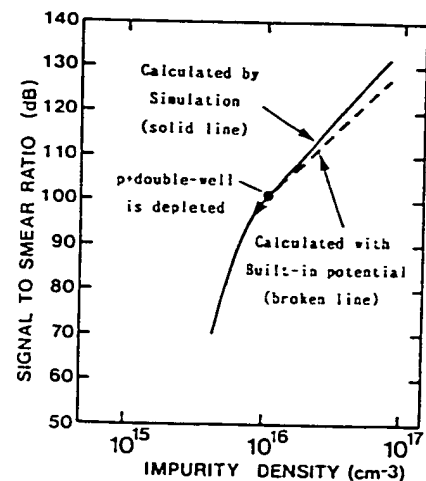


図5 スミアの p⁺2 重ウェル濃度依存性解析値
Fig. 5 Calculated dependence of smear on Impurity density of p⁺ double-well.

図5の実線と破線とはよく一致しており、 p^+2 重ウェル濃度を上げることによるスミアの抑圧量の向上分は、 p^+2 重ウェルの濃度の増加に従って、空乏層縮小効果によるものから拡散電位差によるものへと移行していることがわかる。更にこれらのスミア抑圧効果は、 p^+2 重ウェル濃度の2倍の増加に対して前者で30 dB、後者で10 dBであることが、図5から確かめられた。

以上から明らかなように、 p^+2 重ウェル濃度を大きくすることにより、スミアの抑圧が図れる。しかしながら p^+2 重ウェル濃度は、垂直 CCD の転送効率や飽和電荷量に密接に関係しているため、設計の自由度にはおのずから限界がある。そこでスミアを抑圧するためには、図4で示したように、ホットダイオード飽和時においてもホットダイオード下の p ウェルが完全に空乏化するように、設計を行うことが有効である。ホットダイオード飽和時の電位設定は、オーバフローゲート構造を用いることにより、容易に行うことができる。このような素子においては、スミアは125 dB 程度まで抑圧することが可能である。

3.2 光の漏れ込みによるスミア

本節では、Al 遮光膜と Si 基板との間の多重反射に起因する、光の漏れ込みによるスミアの解析およびその抑圧手法について述べる。

始めに光の漏れ込みに起因するスミアの解析方法について説明する。図6は、ホットダイオード上の Al 遮光膜の端部の形状を、単純化して示したものである。Al 遮光膜の開口に入射する光は、光学系によって定まる入射角度分布を有している。そして、図中の一で示すように、ホットダイオード上の SiO_2 膜から Si 基板に入射する際に、光は反射率 R で反射される。この R は一般に、次の式で表される⁽⁹⁾。

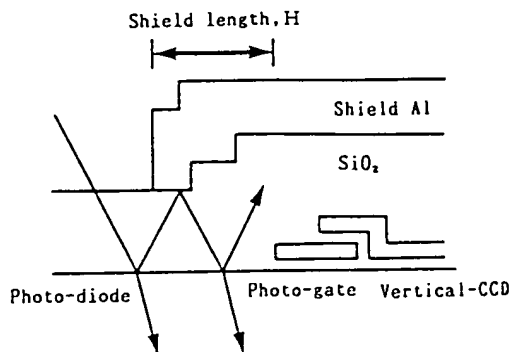


図6 光の漏れ込みによるスミアの解析構造
Fig. 6 Analyzed structure for smear caused by light leakage.

$$R = \left(\frac{n_{\text{Si}}(\lambda) - n_{\text{SiO}_2}(\lambda)}{n_{\text{Si}}(\lambda) + n_{\text{SiO}_2}(\lambda)} \right)^2 \quad (6)$$

但し、 $n_{\text{Si}}(\lambda)$: Si の屈折率

$n_{\text{SiO}_2}(\lambda)$: SiO_2 の屈折率

λ : 入射光の波長

さて今、ある光束 ds を考え、この光束はある一つの角度を有してホットダイオードの1点に入射し、特定の回数だけ反射を繰り返した後、垂直 CCD へ漏れ込むものとする。反射の回数を $K(s)$ とすると、垂直 CCD 上に入射する光の総量 L_n は次の式で求められる。

$$L_n = \int_S R^{K(s)} ds \quad (7)$$

ここで、上式の積分範囲 S は、ホットダイオードの開口に入射する全光束について積分することを表している。

同様に光信号としてホットダイオードに入射する光の総量 L_s は、次の式で表される。

$$L_s = \int_S (1 - R^{K(s)}) ds \quad (8)$$

このとき、光の漏れ込みに起因するスミアは L_n と L_s の比として求まる。

次に、式(7)および(8)の積分範囲 S について述べる。積分範囲 S は正確には、射出瞳全面と素子の全画面の開口全面の2重積分である。図7に素子の光学系の模式図を示す。図中、 z 軸はレンズおよび射出瞳の中心を通り、素子表面の点 O において素子と垂直に交わる座標軸である。点 O から距離 r だけ離れた素子表面上の点を A とすると、点 A に入射する光は、射出瞳上の任意の点から出た光である。ここで、 $R \gg r$ なる近軸近似を導入する。 R は射出瞳半径である。このとき素子表面上の点 A に入射する光束の入射角分布は、点 A の位置にはよらなくなる。以上から式(7)および(8)の積分範

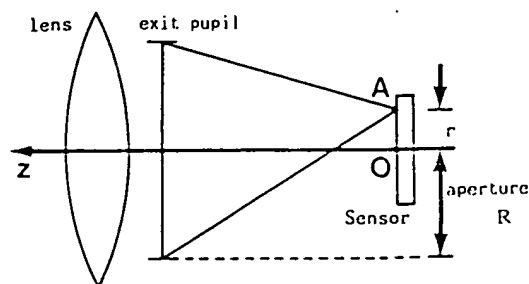


図7 素子の光学系
Fig. 7 Optical structure.

画素 S は、射出瞳全面と、点 O に位置する 1 個の画素の開口全面とに関する独立な 2 重積分として求めることができる。

図 8 は、上記のようにして求めた光の漏れ込みによるスメアの解析例である。図中の縦軸は信号対スメア比、横軸には遮光量 H として、図 6 中に示したホットゲートの端から Al 遮光膜の端までの寸法をとっている。入射光学系の F 値は、 $F1.4$ を仮定している。図 8 から明らかなように、スメアの抑圧量は遮光量に対してほぼ直線関係にあり、層間 SiO_2 膜厚を $1.5 \mu\text{m}$ 、 $1.0 \mu\text{m}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ と変えたときの直線の傾きは、それぞれ $25 \text{ dB}/\mu\text{m}$ 、 $40 \text{ dB}/\mu\text{m}$ 、 $60 \text{ dB}/\mu\text{m}$ であった。また層間 SiO_2 膜厚を $1 \mu\text{m}$ 未満にすれば遮光量に対して極めて効果的にスメアを抑圧できる反面、層間 SiO_2 膜厚が $1 \mu\text{m}$ 以上では、遮光量 H をたとえ $1 \mu\text{m}$ としてもスメアは 100 dB までしか抑圧できない。

また図 9 は、図 8 の横軸を層間 SiO_2 膜厚に直したも

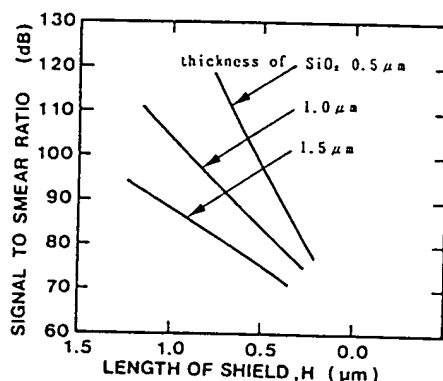


図 8 スメアの遮光量依存性解析値
Fig. 8 Calculated dependence of smear on Shield length.

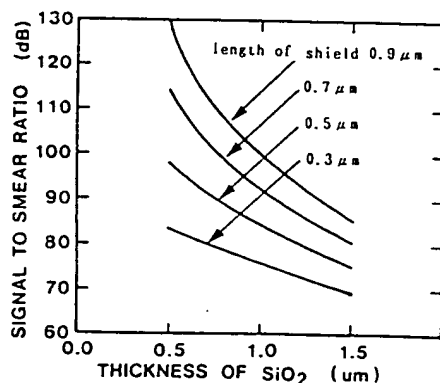


図 9 スメアの層間 SiO_2 膜厚依存性解析値
Fig. 9 Calculated dependence of smear on SiO_2 thickness.

のである。素子の信頼性の面より、層間 SiO_2 膜厚の薄膜化は $0.4 \mu\text{m}$ 程度が限界である。従って、スメアを実用上の問題の少ないレベルである 90 dB 以上に抑圧するためには、遮光量は最低でも $0.4 \mu\text{m}$ 以上は必要となることがわかる。

スメアの抑圧だけを考えれば、遮光量は大きいほど良いが、遮光量の増加は開口率の低減をまねき、光感度の低下をもたらす。従って設計に際しては、上記の解析結果を用い、感度とスメアの設計仕様を両立させるように、Al 遮光膜の遮光量および層間 SiO_2 膜厚を決定する必要がある。

3.3 遮光膜の透過光によるスメア

物理的には、蒸着した Al 層に対して、光は実質的に透過しない。従って撮像素子の Al 遮光膜は光を透過させないものと、従来から考えられていた。しかしながら図 2 にも示したとおり、Al 遮光膜は垂直 CCD のポリシリコンゲート段差上に形成されている。このために部分的に遮光膜の被覆性が劣化することは避けられず、極めて小さいレベルのスメアを問題にする場合には、Al のグレイン間のすき間等を介した遮光膜の透過光が無視できなくなるおそれがある。図 10 には素子表面の Al 遮光膜形状の SEM 写真を示したが、このように Al 遮光膜の表面は荒れており、理想的な遮光特性が期待できるかどうかは疑わしい。そこで遮光膜そのものを透過する光によるスメアの大きさを、素子のオプティカルブラック部分の画素に強力な光を入射させることにより、直接測定した。測定に際しては、解析対象素子と同一の遮光膜構造をもつ素子を用いた。

実測の結果、遮光膜の透過光によるスメアの大きさは、信号対スメアの比にして約 100 dB であることが確認された。すなわち、①ウェル内の電荷拡散によるスメア、および②光の漏れ込みによるスメアを完全に抑圧しても、この③遮光膜の透過光によるスメアによって、素子全体のスメアの S/N は、約 100 dB に制限されることが明らかになった。



図 10 画素部表面 SEM 写真
Fig. 10 SEM micrograph of pixel array.

4. 試作評価

以上の解析結果を評価するために、実際に素子を実験および試作して、スミアの測定を行った。試作した素子は図1の構成、図2の断面構造を有しており、1/2インチ、500(H)×485(V)画素のものである。

図11に、本素子のスミアの遮光量依存性を示す。図中、縦軸は信号対スミア比であり、横軸の遮光量、 H は、図8と同様にホットゲートの端からAl遮光膜の端までの寸法である。また破線はそれぞれ、①はウェル内の電荷拡散によるスミア、②は光の漏れ込みによるスミア、③は遮光膜の透過光によるスミアの解析結果を表し、実線はこれら三つの成分より成る総合的なスミアを示している。

図中①に示したウェル内の電荷拡散によるスミアは、十分に抑圧した設計が可能であった。これはオーバーフローゲート構造を用いてホットダイオードの飽和電圧を比較的高く設定し、pウェルをほぼ完全に空乏化したこ

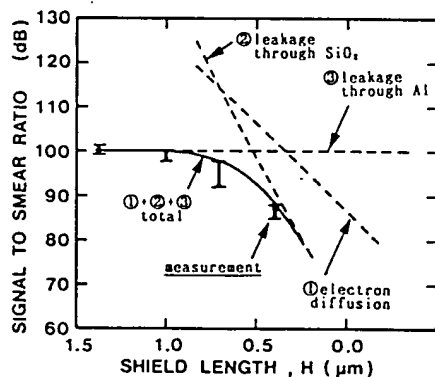


図11 スミアの遮光量依存性
Fig. 11 Calculated and measured dependence of smear on Shield length.

表2 スミアの解析結果

	スミアの抑圧手段	設計値	実測値
①	ホットダイオード下pウェルの完全空乏化 p ⁺ 2重ウェルの濃度設計	114 dB	>108 dB
②	層間SiO ₂ 膜の薄膜化 アルミニウム遮光膜の拡大	114 dB	>96~108 dB
③	現行プロセスでスミア約100 dB これ以上はプロセス上の対策が必要	100 dB	100 dB
①+②+③	スミアの総合特性	97 dB	92~97 dB

とによるところが大きい。従って遮光膜形状は、②の光の漏れ込みによるスミアを抑圧することを主眼に設計された。

更に図11には、この試作素子の評価により得られた総合的なスミアの実測値をI印で示したが、ほぼ解析どおりの結果が得られている。③の遮光膜の透過光によるスミアのばらつきが少ないことから、光の透過が単なる製造不良ではないことがわかる。なお本素子では、スミアのホットダイオード飽和電圧依存性が観察されないことから、①のウェル内の電荷拡散によるスミア成分は無視できる量であることが確認された。

以上に述べたスミアの設計および評価結果を表2にまとめた。本試作素子では92~97 dB、平均で94 dBの信号対スミア比が得られ、Al遮光膜レイアウト形状について最適化を図った結果、同時に30%の開口率を得ている。

5. むすび

インタラインCCD形固体撮像素子のスミアを最適設計することを目的として、1個の素子の総合的なスミアの定量的解析を行った。この結果を以下にまとめる。

① デバイスシミュレータによる計算機解析の結果、pウェル内の電荷拡散によるスミアは、ホットダイオードの電圧に対して10 dB/Vの割合で抑圧され、pウェルを完全空乏化することにより、125 dB程度まで抑圧が可能である。

② 幾何光学的理論式に基づく数値解析により、光の漏れ込みによるスミアの、Al遮光膜下の層間SiO₂膜厚と、遮光量に対する依存性を定量化した。スミアの抑圧量は遮光量に対してほぼ直線関係にあり、層間SiO₂膜厚を1.5 μm、1.0 μm、0.5 μmと変えたときの直線の傾きは、それぞれ25 dB/μm、40 dB/μm、60 dB/μmであった。

③ 遮光膜の透過光によるスミアの存在を提案し、検証した。このスミアの大きさはS/Nで100 dBであった。

解析結果に基づき、500(H)×485(V)画素、1/2インチのインタラインCCD形固体撮像素子を試作したところ、遮光膜形状について最適化を図った結果、約30%の開口率を確保しながら、ほぼ設計どおりの94 dBのスミア抑圧量を得ることができた。

今後の課題としては、これらの三つのスミアを一括して解析するシミュレータの開発と、遮光膜の透過光によるスミア成分の抑圧が残されている。

謝辞 終りに、本研究を進めるに当り有益な御指導と御協力を頂いた、当社中央研究所永田稔博士、浅井彰二郎博士、鳥谷部達博士、高橋健二主任研究員、小沢直樹、尾崎俊文両研究員、ならびに当社茂原工場鐵潤一前部長、早坂昭夫博士、田中清、上原正男両技師に感謝致します。また、素子の試作に当り御協力を頂いた、当社茂原工場製造スタッフの方々に感謝致します。

文 献

- (1) 浜崎, 鈴木, 賀川, 石川, 宮田, 神戸: "可変速電子シャッター付 IT-CCD 撮像素子", テレビ学技報, ED88-9, pp. 31-36 (昭 63-02).
- (2) S. Ohba, M. Nakai, H. Ando, K. Takahashi, M. Masuda, I. Takemoto and T. Fujita: "Vertical smear noise model for an MOS-type color imager", IEEE Trans. Electron Devices, ED-32, 8, pp. 1407-1410 (Aug. 1985).
- (3) 竹本, 宮沢, 西沢, 上原, 中井, 秋山: "水平移送方式固体撮像素子", テレビ学技報, ED891, pp. 49-54 (昭 60-09).
- (4) 寺川, 神戸, 山村, 桑沢, 松本, 平田: "水平 510 画素 CCD 撮像素子", テレビ学技報, ED773, pp. 19-24 (昭 59-02).
- (5) N. Teranishi and Y. Ishihara: "Smear reduction in the interline CCD image sensor", IEEE Trans. Electron Devices, ED-34, 5, pp. 1052-1056 (May 1987).
- (6) 中井, 安藤, 小野, 尾崎, 小池, 大場, 小沢, 竹本: "2 行同時独立読出し IL-CCD の提案", テレビ誌, 41, 11, pp. 1083-1090 (昭 62).
- (7) Y. Ishihara, E. Oda, H. Tanigawa, N. Teranishi, E. Takeuchi, I. Akiyama and K. Arai: "Interline CCD image sensor with an anti blooming structure", IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig., pp. 168-169 (Feb. 1982).
- (8) T. Toyabe, H. Masuda, Y. Aoki, H. Shukuri and T. Hagiwara: "Three-dimensional device simulator CADDETH with highly convergent matrix solution algorithms", IEEE Trans. Electron Devices, ED-32, 10, pp. 2038-2044 (Oct. 1985).
- (9) M. Born and E. Wolf: "Principles of Optics", 3rd edition, Pergamon Press, New York (1964).

(平成元年 1 月 12 日受付, 4 月 19 日再受付)



秋元 肇

昭 59 東工大大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所に勤務し、現在に至る。固体撮像素子の研究に従事。



小野 秀行

昭 56 京大大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所に勤務し、現在に至る。固体撮像素子の研究に従事。



安藤 治久

昭 50 広島大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所に勤務し、現在に至る。固体撮像素子の研究に従事。



中井 正章

昭 49 静岡大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所に勤務し、現在に至る。1 次元・2 次元の固体撮像素子の開発に従事。



大場 信弥

昭 46 阪大大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所に勤務し、現在に至る。電荷移送素子、固体撮像素子、アナログ CMOS LSI の研究に従事。第 7 部主任研究員、工博。



鈴木 敏樹

昭 52 慶大・電気卒。同年朝日製作所入社。同社茂原工場に勤務し、現在に至る。1 次元・2 次元の固体撮像素子の開発、設計に従事。



竹本一八男

昭 43 東工大大学院修士課程了。同年朝日製作所入社。同社中央研究所を経て、現在、同社茂原工場に勤務。Si ターゲットビジョン、電荷移送素子、軟 X 線転写、固体撮像素子の開発に従事。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.